



**ESTUDI D'IMPACTE PER VIBRACIONS SOBRE
UN EDIFICI A CONSTRUIR A L'AV. MARE DE
DÉU DE MONTSERRAT 5-11 DE BARCELONA
DEGUT A L'EXPLOTACIÓ COMERCIAL DE LA
LÍNIA L9/L10 DE METRO DE BARCELONA**

	Nom
Realitzat per	Joan Cardona
Aprovat per	Joan Cardona

Ref.	20513-IN1
Revisió	0
Data	07-08-2020

ÍNDEX

1.-	Control de revisions.....	2
2.-	Introducció	3
2.1.-	Antecedents	3
2.2.-	Objecte	3
2.3.-	Abast.....	3
3.-	Normativa d'aplicació	4
3.1.-	Procediments interns de Qualitat	4
3.2.-	Marc legal	4
3.2.1.-	Àmbit autonòmic.....	4
3.2.2.-	Indicadors d'avaluació i límits admissibles.....	6
4.-	Instrumentació.....	6
5.-	Condicions ambientals	6
6.-	Procediment.....	6
6.1.-	Descripció de la font de vibració.....	6
6.2.-	Metodologia	8
6.3.-	Descripció dels punts de mesura	10
6.4.-	Descripció del model de propagació a través del terreny	10
6.5.-	Estimació dels nivells de vibració a l'interior de l'edifici	13
7.-	Resultats	16
7.1.-	Nivells de vibració previstos a l'interior de l'edifici	16
7.2.-	Anàlisi dels resultats	16
8.-	Percepció de les vibracions.....	17
9.-	Síntesi.....	18
10.-	Conclusions	19
11.-	Referències.....	20

1.- Control de revisions

Revisió	Data	Modificacions realitzades	Autor	Revisió
0	07-08-2020	Creació del document	Joan Cardona	Sara Olivares

2.- Introducció

2.1.- Antecedents

L'edifici d'habitatges objecte d'estudi està situat a l'Av. Mare de Déu de Montserrat 5-11 de Barcelona, carrer per sota del qual hi transcorre de forma soterrada el Tram III de la línia L9/L10 de Metro Barcelona. La cota rasant de la infraestructura de Metro quan passa per davall del solar està a una profunditat d'uns 64 m, profunditat molt elevada, amb la qual cosa el futur edifici difícilment estarà afectat per les vibracions induïdes per l'explotació comercial d'aquesta infraestructura ferroviària.

Tot i això, és conegut que l'explotació de qualsevol infraestructura ferroviària genera soroll i/o vibracions sobre el seu entorn proper, i que aquests són agents que poden generar molèsties sobre les persones. Per aquest motiu, qualsevol nova construcció que estigui en l'àmbit d'influència d'una infraestructura ferroviària existent ha de tenir en compte aquests agents per tal de dimensionar l'edificació en conseqüència.

En el moment del desenvolupament d'aquest estudi, la promoció d'habitatges està en fase de projecte.

2.2.- Objecte

Predicció dels nivells de vibració que s'induiran a l'interior del futur edifici d'habitatges objecte d'estudi a causa de l'explotació comercial de la infraestructura ferroviària de la línia L9/L10 de Metro Barcelona.

En cas que s'escaigui, proposta de solució per tal de minimitzar els nivells de vibració que s'induiran a l'interior de l'edifici objecte d'anàlisi.

2.3.- Abast

Com que la infraestructura ferroviària en aquesta zona encara no està acabada i, per tant, no hi ha circulació de trens, no s'ha pogut desenvolupar una campanya de mesures de vibració al carrer per determinar els nivells de vibració que genera l'explotació d'aquesta infraestructura ferroviària a peu del futur edifici.

Per fer la predicció dels nivells de vibració a l'interior del futur edifici, doncs, s'han considerat els espectres de vibració enregistrats per l'equip d'AV Enginyers a l'interior del túnel de la línia L9/L10 en altres zones on s'està explotant comercialment.

A partir d'aquestes mesures experimentals i tenint en compte el tipus de terreny de la zona on s'ubica l'edifici objecte d'estudi, s'ha caracteritzat la propagació de les vibracions des del túnel fins a la superfície del carrer i, posteriorment, s'ha portat a terme una estimació dels nivells de vibració que es podran induir a l'interior del futur edifici d'habitatges quan aquest estigui construït, degut a l'explotació comercial de la infraestructura ferroviària.

3.- Normativa d'aplicació

3.1.- Procediments interns de Qualitat

Per la realització del present estudi s'han seguit els procediments interns d'AV Enginyers segons el sistema de gestió de la Qualitat ISO 9001:2015. A continuació es recullen els procediments:

- Procediment P1.1. Gestión de Proyectos Vibroacústicos.
- Procediment S1.1. Gestión Técnica de Proyectos

3.2.- Marc legal

3.2.1.- Àmbit autonòmic

La normativa de referència a Catalunya pel que fa a la immissió interior de les vibracions és el Decret 176/2009, de 10 de Novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la *Llei 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica* i se n'adapten els seus annexos.

L'objecte d'aquest Decret és el desenvolupament de la Llei 16/2002 i l'adaptació dels seus annexos per tal d'assolir l'adequació a aquells preceptes de caràcter bàsic de la normativa estatal que incideixen directament en la normativa catalana.

La immissió de les vibracions s'avalua a l'interior de les edificacions i es fa en funció de l'ús de l'edifici, tal com indica l'*Annex 7. Immissió de les vibracions als interiors dels*

edificis, on s'estableixen els valors límit per la immissió de les vibracions, tal com es mostra a la Taula 3.1.

Ús de l'edifici	Valors límit d'immissió L_{aw} [dB]
Habitatges o ús residencial	75
Hospitalari	72
Educatiu o cultural	72

Taula 3.1. Valors límit d'immissió de les vibracions a l'interior de les edificacions.

La magnitud a avaluar és el valor eficaç de la senyal d'acceleració ponderat en freqüència, entre les freqüències d'1 a 80 Hz, durant un període de temps representatiu del funcionament de la font de vibració.

El nivell d'immissió de les vibracions s'ha de mesurar i/o avaluar a l'interior de les edificacions, situant l'acceleròmetre al terra o al forjat i mesurant simultàniament en les tres direccions (x,y,z) en cas que la direcció predominant de la vibració no estigui definida. En aquest cas, el valor màxim del valor eficaç del nivell d'acceleració a_w , es determina segons l'expressió (1):

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,x}^2(t) + a_{w,y}^2(t) + a_{w,z}^2(t)} \quad (1)$$

on $a_{w,x}^2$, $a_{w,y}^2$ i $a_{w,z}^2$ són les components de vibració mesurades en els eixos **x**, **y** i **z**, respectivament.

Aquest valor s'expressa com el nivell d'avaluació, L_{aw} , calculat segons l'expressió (2):

$$L_{aw} = 20 \cdot \log \frac{a_w}{a_0} \quad (2)$$

on a_0 és l'acceleració de referència, 10^{-6} m/s².

3.2.2.- Indicadors d'avaluació i límits admissibles

Per tot l'exposat anteriorment i amb l'objectiu d'establir el límit admissible que determini el marc legal a complir, es pren com a valor objectiu pel present projecte el que mostra la Taula 3.2.

Ús de l'edifici	Valor límit d'immissió de vibracions, L_{aw} [dB]
Habitatges o ús residencial	75

Taula 3.2. Valor límit d'immissió interior de les vibracions aplicable al projecte.

4.- Instrumentació

Com que la infraestructura ferroviària en aquesta zona encara no està en funcionament, no s'han pogut fer mesures del nivell de vibració existent a la zona abans de construir l'edifici objecte d'estudi.

5.- Condicions ambientals

No aplica perquè no s'han fet mesures de vibració, tal com es justifica a l'apartat anterior.

6.- Procediment

6.1.- Descripció de la font de vibració

La font de vibració objecte d'estudi és la futura circulació comercial del material mòbil de la línia L9/L10 de Metro Barcelona a la secció del Tram III compresa entre les estacions de Sanllehy i Muntanya. La Figura 6.1 mostra una vista aèria de la ubicació de l'edifici objecte d'anàlisi respecte la infraestructura ferroviària.



Figura 6.1. Vista de la ubicació de l'edifici respecte la infraestructura de TMB.

El túnel de Metro de la L9/L10 es caracteritza per ser un túnel de 10.9 m de diàmetre interior amb dues vies però no paral·leles sinó superposades, amb la qual cosa la via inferior està construïda sobre la solera del túnel mentre que la via superior està construïda sobre una llosa intermèdia tipus forjat, tal com es mostra a la Figura 6.2.

En aquest tram, encara en construcció, encara no s'ha executat la llosa intermèdia de formigó que divideix el túnel en dues seccions. Les obres de construcció de la línia de metro a la zona que afecta la nova construcció encara no han finalitzat.

L'eix del túnel passa per la vertical de la línia de façana del solar on es construirà l'edifici objecte d'estudi, amb la qual cosa hi ha uns 6 m de túnel que queden a sota del solar. La cota de la rasant del túnel està a una profunditat d'uns 64 m respecte la cota carrer.



Figura 6.2. Secció transversal del túnel de la L9/L10 de Metro Barcelona.

6.2.- Metodologia

Tal com s'ha comentat anteriorment, la infraestructura ferroviària encara no està en funcionament, amb la qual cosa com a punt de partida de la simulació no s'han pogut considerar els nivells de vibració que s'indueixen a l'interior del solar objecte d'estudi, amb la qual cosa s'han considerat els nivells de vibració induïts a l'interior del túnel de la línia L9/L10 però en una altra secció on la infraestructura ferroviària sí està en funcionament comercial.

Concretament, els nivells de vibració considerats són els enregistrats a l'interior del túnel a la zona de Collblanc, on el traçat de la línia L9N/L10N també és en recta, igual que en el cas de la zona l'Av. Mare de Déu de Montserrat (veure Figura 6.3), i el túnel també és de 10.9 m de diàmetre interior amb les vies superposades.

Per tant, les mesures sobre les que es basen els càlculs es consideren representatives de les condicions d'explotació que hi haurà a l'entorn del número 5-11 de l'Av. Mare de Déu de Montserrat quan la infraestructura ferroviària s'exploti comercialment.

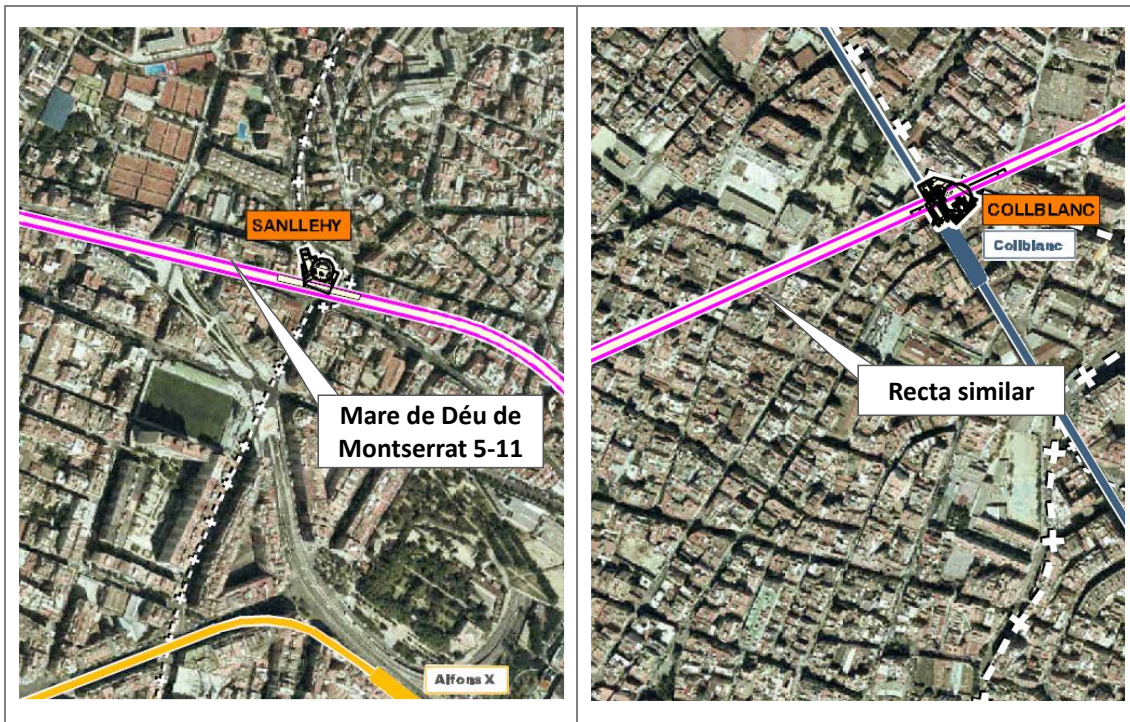


Figura 6.3. Vista de la recta on s'ubica l'edifici objecte d'estudi i de la recta de Collblanc.

Tal com s'ha definit a l'apartat anterior i es pot veure a la Figura 6.2, el túnel de la línia L9/L10 disposa d'un via inferior i una via superior. L'experiència d'AV Enginyers en la caracterització del comportament dinàmic d'aquest tipus de túnel indica que les circulacions per via superior sempre generen nivells de vibració més elevats que les circulacions per via inferior. Per tant, els càlculs es faran considerant només els nivells de vibració que generen les circulacions per via superior de la línia L9/L10.

De les mesures fetes a l'interior del túnel, es determinen els següents paràmetres per tal de calcular l'impacte per vibracions, només corresponents a les circulacions per via superior:

- Senyal temporal de vibració durant el pas dels trens
- Valor eficaç del senyal d'acceleració de pas de tren
- Espectre de l'acceleració eficaç en bandes de terç d'octava ponderat en freqüència, entre les freqüències d'1 a 80 Hz, segons la corba w_m
- Nivell d'avaluació, L_{aw} .

A partir d'aquests nivells de vibració enregistrats a l'interior del túnel, es calcula el nivell de vibració que arribarà al carrer a l'alçada de l'Av. Mare de Déu de Montserrat, 5-11. Per fer aquest càlcul s'utilitza el model semi-empíric que es defineix a l'apartat 6.4.-, que té en compte el tipus de terreny existent a la zona i altres paràmetres que es defineixen en aquest apartat.

6.3.- Descripció dels punts de mesura

Els nivells de vibració a l'interior del túnel s'enregistren a l'hastial, on s'instal·len tres (3) acceleròmetres d'alta sensibilitat en disposició ortogonal (x,y,z) sobre un cub metàl·lic. La Figura 6.4 mostra una vista d'aquests acceleròmetres.

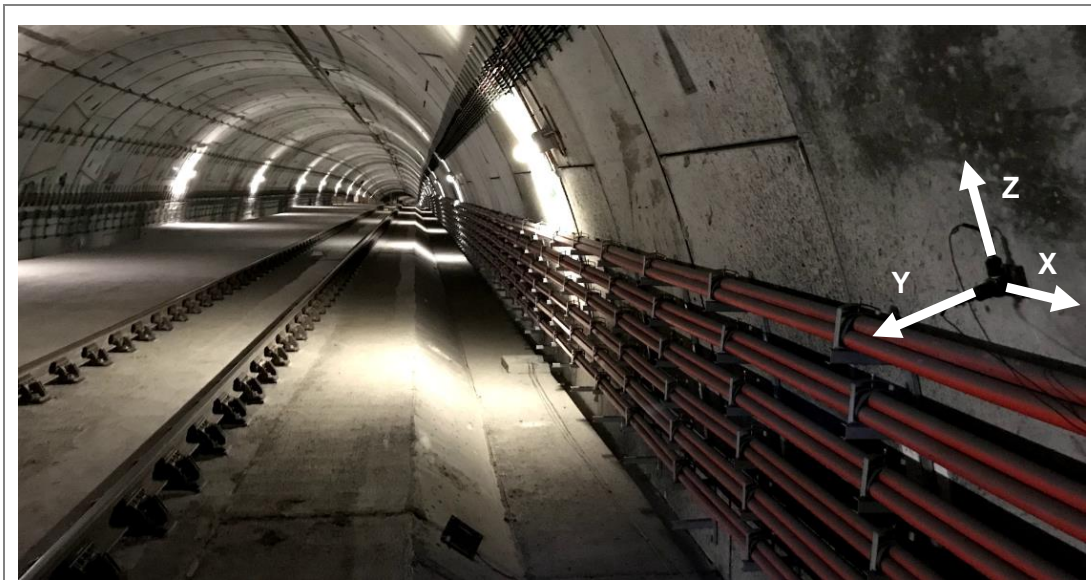


Figura 6.4. Vista dels acceleròmetres utilitzats per la mesura de vibracions.

6.4.- Descripció del model de propagació a través del terreny

Encara no existeix cap model nacional o internacional establert com a referència per a la predicció dels nivells de vibració, amb la qual cosa AV Enginyers ha desenvolupat el seu propi model basant-se en la llei de propagació de Barkan o Bornitz (veure expressió 3) que considera un valor de referència a un punt proper a les vies i una atenuació del terreny entre la infraestructura ferroviària i l'edifici objecte d'estudi.

$$v_b = v_a \left(\frac{r_a}{r_b} \right)^\gamma e^{\alpha(r_a - r_b)} \quad (3)$$

La propagació de les vibracions des d'un túnel soterrat té lloc per mitjà de les ones volumètriques longitudinals, P, i transversals, S, tenint cada tipologia d'ona un rati d'atenuació de l'energia degut a l'expansió del front d'ona diferent, simbolitzat aquest rati mitjançant l'atenuació geomètrica, γ .

L'altre mecanisme d'atenuació de l'energia vibratòria té a veure amb la composició geològica del terreny, efecte caracteritzat a través de l'atenuació material, α [m^{-1}].

En el model utilitzat, v_a i v_b són les acceleracions de vibració als punts situats a les distàncies r_a i r_b de la font de vibració, γ és el coeficient d'atenuació geomètrica, i α és el coeficient d'atenuació material, que es defineix com:

$$\alpha = \frac{\eta \pi f}{c} \quad (4)$$

On f és la freqüència, c és la velocitat de l'ona i η és el factor de pèrdua del terreny. El valor d' α s'estableix en base a referències internacionals [1-5].

El procediment per a realitzar la predicció del nivell de vibració al carrer degut a la futura explotació comercial de la línia L9/L10 de Metro Barcelona a la zona objecte d'estudi es descriu a continuació:

1. Nivell de vibració de referència

La Figura 6.5 mostra l'espectre de vibració induït a l'hastial del túnel de la via superior de la línia L9/L10 a la recta compres entre les estacions de Collblanc i Torrasa. Aquest és l'espectre considerat com nivell de referència.

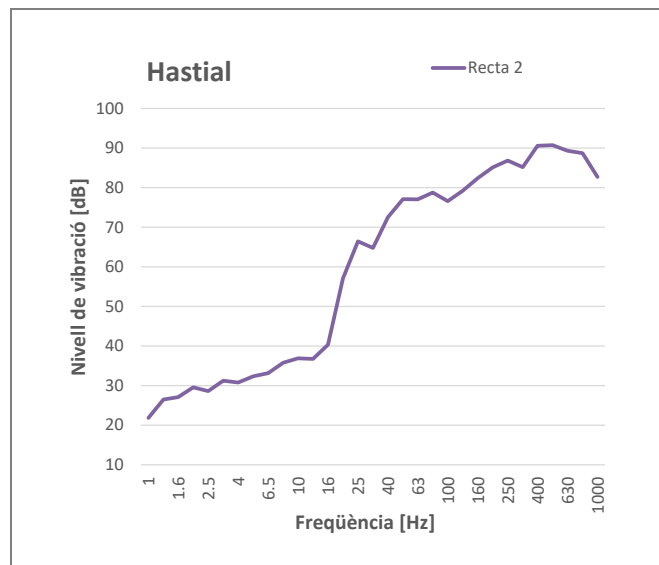


Figura 6.5. Espectre de vibració considerat com a valor de referència pel model predictiu de propagació.

- La propagació de la vibració depèn de les característiques geològiques del terreny (atenuació material, α) i de l'atenuació del front de les ones (atenuació geomètrica, γ), que pel cas objecte d'estudi prenen els valors de la Taula 6.1.

Paràmetre	Símbol	Valor
Tren soterrat	γ	0.3
Pissarres i argiles amb sorres	α	0.008 - 0.025

Taula 6.1. Valors dels paràmetres d'atenuació geomètrica, γ i material del terreny, α , considerats.

- Aplicació del model de propagació de vibracions a través del terreny per determinar l'atenuació de la vibració en funció de la profunditat del túnel.
A la Figura 6.6 es mostren les corbes de propagació del nivell de vibració des del túnel fins a la superfície del carrer, en funció del valor que es consideri pel paràmetre d'atenuació material, α .

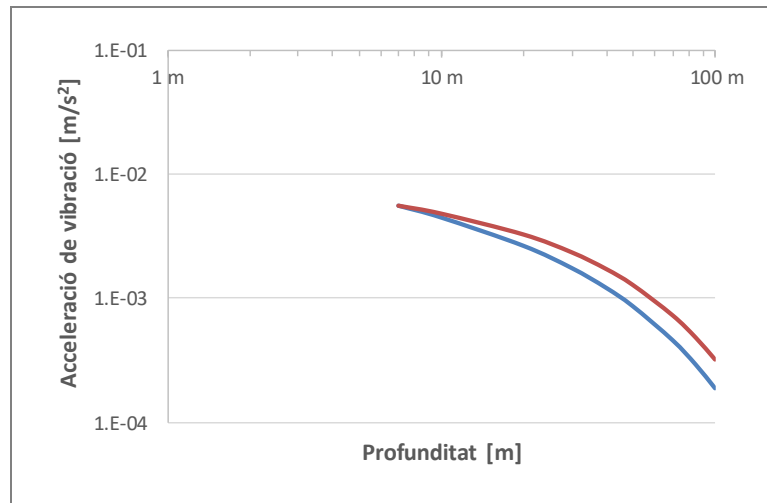


Figura 6.6. Corba característica d'atenuació de la vibració en funció de la profunditat del túnel.

4. Determinació de l'espectre de vibració al carrer, a peu del futur edifici objecte d'estudi.

6.5.- Estimació dels nivells de vibració a l'interior de l'edifici

La transmissió de les vibracions cap a les edificacions es produeix quan l'energia vibratòria procedent del terra arriba a l'edifici i es transmet per la cimentació, perdent part de la seva energia degut al canvi d'impedància del mitjà, amb la qual cosa es parla d'una primera etapa d'atenuació deguda a l'acoblament terreny-estructura. A partir de la cimentació, les vibracions es propaguen per l'estructura portant de l'edifici cap a les diferents plantes d'aquest, el que sol provocar una segona etapa d'atenuació, i, finalment, a cada planta l'energia vibratòria es propaga pel forjat, provocant habitualment una ampliació dels nivells de vibració al centre del forjat respecte als existents als seus extrems, que són els punts propers a l'estructura portant i, per tant, els que tenen menor capacitat de mobilitat i vibració.

La *Federal Transit Administration* [6] dels Estats Units estableix uns valors per a cada una de les dues etapes d'atenuació comentades anteriorment així com uns valors d'amplificació deguda a la vibració transmesa pel forjat, que aquí queden recollits a la Taula 6.2.

Concepte	Descripció	Ajust [dB]
Acoblament terreny-edifici	Edifici de mampostería d'1-2 pisos d'alçada	-7
	Edifici de mampostería de més de 2 pisos	-10
	Edifici de mampostería de més de 2 pisos sobre sabata correguda	-13
	Cimentació sobre roca	0
Atenuació vertical (entre pisos)	Entre els pisos 1 i 5 sobre el terra	-2 dB/pis
	Entre els pisos 5 i 10 sobre el terra	-1 dB/pis
Ressonància forjat	-	+6

Taula 6.2. Factors d'ajust sobre el nivell de vibració al terreny per a tenir en compte el comportament dinàmic de l'edifici.

Aquests valors divergeixen dels publicats per altres investigadors, com Auersch [7,8] o els determinats experimentalment per l'equip tècnic que redacta aquest projecte. A més, aquests valors no tenen en compte el contingut en freqüència de l'energia de vibració. Per això, aquests valors es desestimen i es consideren els espectres obtinguts per AV Enginyers a la seva dilatada experiència en el camp de la mesura i modelat de la propagació de les vibracions d'origen ferroviari cap a les edificacions. Els valors de cada un d'aquests tres factors d'ajust es comenten a continuació:

Acoblament terreny-edifici

Els resultats estadístics mostren una disminució global del nivell de vibració a la planta baixa de l'edifici respecte el nivell de vibració a peu de carrer. El comportament de l'acoblament terreny-edifici respecte la freqüència és el que mostra la Figura 6.7.a, on els valors negatius indiquen atenuació i els valors positius indiquen amplificació del nivell de vibració.

Atenuació vertical

Els resultats estadístics mostren que el nivell de vibració experimenta una disminució amb l'alçada de l'edifici, per la qual cosa la planta on es tindrà una menor atenuació del nivell de vibració serà la primera.

De totes formes, aquesta variació del nivell de vibració de la primera planta respecte el nivell de vibració de la planta baixa és mínima, amb la qual cosa seguint un criteri conservador, es considera una atenuació nul·la del nivell de vibració entre la planta baixa i la primera planta, que serà la considerada per a l'avaluació.

Amplificació del forjat

En aquest cas, el forjat actua com un element amplificador del nivell de vibració. El seu comportament respecte la freqüència és el que es presenta a la Figura 6.7.b, on els valors negatius indiquen atenuació i els valors positius indiquen amplificació del nivell de vibració.

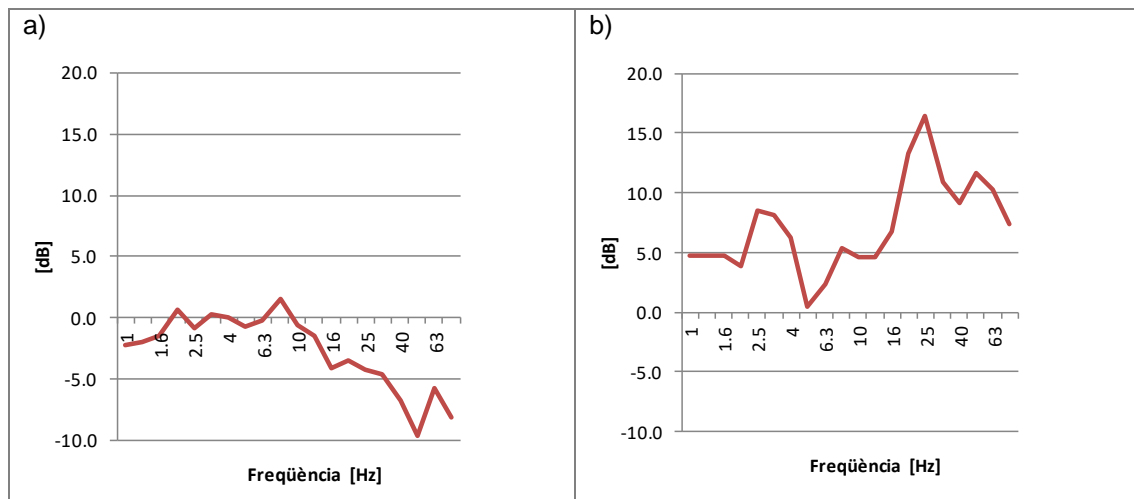


Figura 6.7. Espectre amitjanat de a) acoblament terreny-edifici i b) amplificació del forjat per a edificis d'estructura de formigó.

7.- Resultats

7.1.- Nivells de vibració previstos a l'interior de l'edifici

Els nivells de vibració que s'induiran a l'interior de l'edifici d'habitatges objecte d'estudi es calculen partint del model de propagació de les vibracions pel terreny definit a l'apartat 6.4. *Descripció del model de propagació a través del terreny* i considerant les hipòtesis sobre el comportament dinàmic dels edificis definides a l'apartat 6.5. *Estimació dels nivells de vibració a l'interior de l'edifici*.

La Taula 7.1 presenta l'estimació dels nivells de vibració previstos a l'interior de l'edifici d'habitatges. Aquesta taula ofereix un rang de valors, definit per un màxim i un mínim, calculats en funció del rang de valors que pot prendre el coeficient d'atenuació material del terreny, α .

Línia explotada	Rang de nivells de vibració estimats, L_{aw} [dB]		
	\bar{x}	Màxim	Mínim
L9/L10 Metro Barcelona	61.0	63.0	59.0

Taula 7.1. Resum dels nivells de vibració estimats a l'interior de l'edifici d'habitatges.

7.2.- Anàlisi dels resultats

Els nivells de vibració previstos a l'interior de l'edifici objecte d'estudi són inferiors al nivell d'immissió de vibració màxim admissible segons la normativa d'aplicació, amb la qual cosa no cal implementar cap mesura correctora orientada a la reducció d'aquests nivells.

Per altra banda, és conegut que en certs entorns tranquils on el nivell de soroll ambiental és baix, nivells de vibració similars als que s'estimen en aquest projecte són perceptibles per part dels veïns, fet que suposa una falta de confort per a ells.

A l'apartat següent s'exposen els resultats d'un estudi experimental desenvolupat per AV Enginyers sobre la percepció del soroll i les vibracions d'origen ferroviari.

8.- Percepció de les vibracions

Tal com s'ha comentat a l'apartat anterior, una cosa és complir amb els límits normatius i l'altra és que les vibracions i el soroll secundari que generen no siguin perceptibles.

Un estudi realitzat al municipi de Terrassa durant la construcció del perllongament de la xarxa dels Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya en aquesta ciutat va permetre establir una relació empírica entre nivell de vibració i percepció d'aquestes per part dels veïns.

Els resultats d'aquest estudi mostraven que es podia establir una classificació en tres grups diferents segons la percepció de la vibració mecànica i del soroll secundari provocat per aquesta, tal com mostra la Taula 8.1.

Grup	Nivell de vibració, L_{aw} [dB]	Percepció
1	$60 < L_{aw}$	Lleugera percepció de les vibracions i percepció clara de soroll secundari
2	$55 < L_{aw} < 60$	Nul·la percepció de vibracions i percepció mitja de soroll secundari
3	$L_{aw} < 55$	Nul·la percepció de vibracions i escassa percepció de soroll secundari

Taula 8.1. Classificació de la percepció de les vibracions en funció del nivell.

A la vista dels nivells que s'estima s'induiran a l'interior de l'edifici analitzat ($L_{aw} < 63$ dB), aquest habitatge quedaria classificat en el Grup 1, amb la qual cosa hi podria haver percepció del soroll secundari causat per l'explotació de la línia L9/L10 de Metro Barcelona.

Tot i això, tenint en compte que el nivell de soroll nocturn a la zona de l'Av. Mare de Déu de Montserrat és $L_n = 60-65$ dBA, corresponent a una zona poc tranquil·la, s'estima que la percepció dels efectes de les vibracions del Metro seran inferiors a les que es recullen a la taula anterior.

Tot i això, s'ha de tenir en compte que l'estudi de percepció és empíric i absolutament subjectiu, amb la qual cosa la percepció depèn de cada persona i, per tant, aquesta conclusió no implica que tots els veïns dels habitatges hagin de percebre les vibracions i/o el soroll secundari de la mateixa forma.

9.- Síntesi

A la present assistència tècnica es fa una predicció dels nivells de vibració que s'induiran a una futura promoció d'habitatges situada a l'Av. Mare de Déu de Montserrat, 5-11 de Barcelona degut a la futura explotació comercial de la línia L9/L10 de Metro Barcelona.

Com que la infraestructura ferroviària en aquesta zona encara no està acabada i, per tant, no hi ha circulació de trens, per fer la predicció dels nivells de vibració a l'interior del futur edifici s'han considerat els espectres de vibració enregistrats a l'interior del túnel de la línia L9/L10 en una altra zona que sí s'està explotant comercialment. La zona és el trema entre les estacions de Collblanc i Torrassa donat que és un tram en recta similar al de la línia L9/L10 quan passa per l'Av. Mare de Déu de Montserrat.

A partir d'aquestes mesures, s'aplica un model de propagació de vibracions a través del terreny basat en l'expressió de Barkan, que té en compte les característiques geològiques del sòl per determinar el nivell de vibració al carrer. Amb un model estadístic de comportament dinàmic d'edificis es calculen els nivells de vibració que es podran induir a l'interior del futur edifici d'habitatges quan aquest estigui construït, degut a la futura explotació comercial de la infraestructura ferroviària.

L'estimació dels nivells de vibració que s'induiran a l'interior de l'edifici induïts per la futura explotació de la línia L9/L10 indica que aquests seran inferiors al valor límit normatiu.

Tenint en compte un estudi de la percepció de les vibracions i el soroll secundari que provoca l'explotació d'infraestructures ferroviàries soterrades, es determina que és probable que els nivells de vibració previstos generin un soroll secundari que sigui percebut per part d'alguns veïns, però tampoc es pot afirmar amb rotunditat degut a la subjectivitat de la percepció.

10.- Conclusions

Les conclusions que es deriven de la present assistència tècnica són les següents:

1. S'estima que els nivells de vibració induïts a l'interior dels habitatges un cop construït l'edifici seran els de la següent taula que, com es pot observar, són inferiors al valor límit establert al Decret 176/2009, que és $L_{aw} = 75$ dB.

Línia explotada	Rang de nivells de vibració estimats, L_{aw} [dB]	
	\bar{x}	Màxim
L9 de Metro Barcelona	61.0	63.0

Taula 10.1. Nivells de vibració estimats a l'interior dels habitatges.

2. És probable que nivells de vibració com els previstos $L_{aw} < 63$ dB puguin generar soroll secundari que sigui perceptible pels veïns.

L'autor del projecte

St. Cugat del Vallès, a 07 d'agost de 2020

11.- Referències

- [1] H. Amick. A frequency-dependent soil propagation model. *SPIE Conference on current developments in vibration control of optomechanical systems*. 1999.
- [2] G.A. Athanasopoulos, P.C. Pelekis and G.A. Anagnostopoulos. Effect of soil stiffness in the attenuation of Rayleigh-wave motions from field measurements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 19(4): 277-288, 2000.
- [3] W.L. Fourny, J.W. Dally and D.C. Holloway. Attenuation of strain waves in core samples of three types of rock. *Experimental Mechanics*, 16 (4): 121-160, 1976.
- [4] R.D.Woods and L.P. Jedgele. Energy-attenuation relationships from construction vibrations. *Vibration problems in geotechnical engineering (G.Gazetas I E.T. Selig, Eds.)*, ASCE, 187-202, 1985.
- [5] G.J. Rix, C.G.Lai and W.Spang Jr. In situ measurement of damping ratio using surface waves. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(5): 472-480, 2000.
- [6] FTA VA-90-1003-06. Transit noise and vibration impact assessment, Federal Transit Administration, Office of Planning and Environment, Washington (USA), 2006.
- [7] Auersch L. et al. Theory and experiments on wave propagation, on track-soil and on soil-building interaction related to railway induced vibration. *Proceedings of Structural Dynamics EUROdyn 2002*, 2002.
- [8] L. Auersch. Dynamic stiffness of foundations on inhomogeneous soils for a realistic prediction of vertical building resonance. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2008, 134(3), 328-340.